

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 60184225
PUBLICATION DATE : 19-09-85

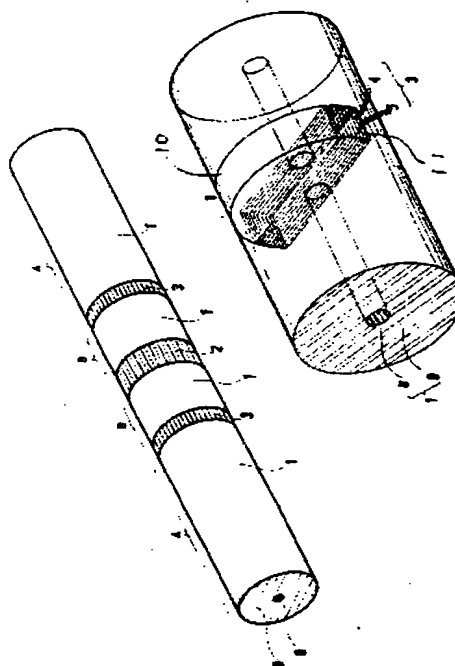
APPLICATION DATE : 01-03-84
APPLICATION NUMBER : 59040174

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : SHIRAISHI KAZUO;

INT.CL. : G02B 27/28 G02B 6/00 G02F 1/09

TITLE : OPTICAL FIBER TYPE ISOLATOR



ABSTRACT : PURPOSE: To make a large-sized heavy polarizer/analyzer, Farady rotating element, or lens unnecessary to make a device small-sized and light-weight by producing an isolator directly in an optical fiber.

CONSTITUTION: A thin Farady rotating element 2 consisting of a bismuth substitution gadolinium iron garnet is interposed between end faces of two optical fibers and is adhered or is inserted to grooves formed on fibers. Dielectric metallic multilayered film polarizers 3 and 3 inclined at 45° to each other are formed on individual optical fibers, and such magnetic field is given that the Farady rotation angle is 45°. After the Farady rotating element 2 and dielectric metallic multilayered film polarizers 3 are formed on the way of optical fibers 1, they are polished in accordance with peripheral faces of fibers. A groove 10 is cut up to a core 8 from the side of the optical fiber 1 consisting of the core 8 and a clad 9. Though the groove 10 is cut with an arch shape, dielectric films 4 and metallic films 5 are formed alternately on a bottom 11 in parallel with the bottom. Many parallel dielectric films and metallic films are formed in this manner to cover the core 9.

COPYRIGHT: (C)1985,JPO&Japio

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-184225

⑬ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)9月19日

G 02 B 27/28
6/00
G 02 F 1/09

8106-2H
E-7370-2H
7448-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全12頁)

⑮ 発明の名称 光ファイバ型アイソレータ

⑯ 特 願 昭59-40174

⑰ 出 願 昭59(1984)3月1日

⑱ 発 明 者 川 上 彰 二 郎 仙台市土樋236 ファラオC9
⑲ 発 明 者 白 石 和 男 仙台市二日市2の22の1303
⑳ 出 願 人 川 上 彰 二 郎 仙台市土樋236 ファラオC9
㉑ 出 願 人 住友電気工業株式会社 大阪市東区北浜5丁目15番地
㉒ 代 理 人 弁理士 川 瀬 茂 樹

明 細 書

1. 発明の名称

光ファイバ型アイソレータ

2. 特許請求の範囲

コア8とこれを開くクラッド9とよりなる2本のシングルモード光ファイバ1、1と、ビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネット単結晶よりなり前記シングルモード光ファイバ1、1の端面に接合あるいは光ファイバに切りこまれた溝に挿入される1個ないしは複数のファラデー回転素子2と、それぞれのシングルモード光ファイバ1、1の側面からコア8に至るまで切りこまれた互に45°のねじれ角を有する弓形の溝10の中に誘電体膜4と金属膜5を交互に積層して形成してあるか、又は別個に誘電体膜4と金属膜5を交互に積層したものを互に45°のねじれ角をなすよう光ファイバ1、1の任意の端面に接合してある誘電体金属多層膜偏光子3と前記ファラデー回転素子2に軸線方向の磁場を与えてファラデー回転素子2を通る光の偏波面を45°回転させる磁場印加機構とより

構成される事の特徴とする光ファイバ型アイソレータ

3. 発明の詳細な説明

(イ) 技術分野

この発明は光ファイバ型アイソレータに関する。光通信システムには光源として、発光ダイオード、レーザダイオード等が用いられる。小型で、直接変調できるという利点があるからである。

レーザダイオードを用いたものは、特に、長距離大容量の伝送に適している。レーザダイオードは、しかし、戻り光があると、発振条件が変化し、動作が不安定になる、という欠点がある。

そこで、半導体レーザ(レーザダイオード)を光源を用いる光通信システムに於ては戻り光をカットするため光アイソレータを用いる。

光アイソレータは、ファラデー回転素子を偏光子と検光子とで挟んだものである。ファラデー回転素子は入射してきた光の偏波面を45°回転するものである。偏光子の偏光方向と、検光子の偏光方向は45°ずれている。光アイソレータを順方向に通

過する光は、偏光子を通り定まった偏波面を持つ直線偏光となり、ファラデー回転子によつて45°偏波面が回転するが、検光子の偏光方向と合致するから、これを通過する。逆方向に入つた光は逆方向に偏波面が回転し偏光子の偏光方向と直角をなすようになるから、偏光子を通り抜ける事ができない。

(4) ファラデー回転子

ファラデー回転角は、回転子の長さ、この長さに沿つて与えられる磁場Hの大きさに比例する。比例定数はベルデ定数と呼ばれる。

ベルデ定数の大きい物質で、光に対し透明なものをファラデー回転子に選ばなければならない。ファラデー効果のある物質を磁気光学材料と呼ぶ事もある。この材料として、最もよく知られているものはYIG(イットリウム、鉄、ガーネット)である。

ベルデ定数は、物質固有の値であるが、透過する光の波長によつて変化する。

短波長(0.8 μm 以下)の光に対しては、HOYA

ガラスFR-5が、大きいベルデ定数を持つ事が知られている。この常磁性ガラスを用いた光アイソレータも実用化されている。

ところが、FR-5ガラスはベルデ定数が、光の波長のほぼ2乗に反比例(正確には2.4乗)して変化する。このため長波長(1.3~1.5 μm)の光に対してはベルデ定数が小さくなりすぎて、光アイソレータとして使えない。

光ファイバの伝送損失や、安定な半導体レーザ(InP系)が存在するという事から、長波長帯の光を用いた光通信システムは特に有望である。従つて、この波長域で有効な光アイソレータが要求される。

(5) YIG光アイソレータ

現在のところ、長波長帯用の光アイソレータとして実際に製作されているものは、YIGを用いたものだけである。YIG単結晶を成長させ、これを切断した単結晶を使う事もある。薄膜単結晶を用いる事もある。

第1図は公知のYIGファラデー回転素子の斜

視図である。薄い基板50の上に、Gd-YIGフィルム51を液相エピタキシャル成長させたものである。光軸52がGd-YIGフィルム51を面平行に貫くようにし、光軸52に平行な磁界Hを印加する。入射光の偏波面53が、出射側では45°回転した偏波面54となつてゐる。

第2図はこのYIGファラデー回転素子を使った光アイソレータの拡大断面図である。

Gd-YIGフィルム51を囲むように、円筒形のひとつの永久磁石又は複数の磁化方向が平行な永久磁石55が配置される。永久磁石55の両端面に接するように強磁性体のヨーク56、56が設けてある。ヨーク56、56の端面の中央には、屈折率分布型レンズ57、57が嵌込んである。レンズ57、57とYIGフィルム51は同一直線上にあるようにする。

これらの部材はハウジング58の中に固定される。屈折率分布型レンズ57、57の端面には偏光子59、検光子60が貼り付けてある。

YIGは、波長1 μm 付近から長波長側で透明で

あり、ベルデ定数も大きい。45°回転に要する長さは、飽和磁化において、2~3mm($k=1.2\sim 1.3\mu\text{m}$)程度である。

第1図、第2図に示すものは、T. Aoyama, T. Hibara, and Y. Ohta, Light Waveguide Tech., L T-1, 280(1978)に於て提案されたものである。

YIGのファラデー回転素子としての特性は満足できるとしても、この光アイソレータにはふたつの難点がある。

YIGフィルム51はバルク動作するので、これに光を通すためには、どうしてもレンズが必要である。また、偏光子、検光子が大きい寸法の素子であつて、シングルモード光ファイバと軸合わせするのが難しい。たとえ光軸が合致したとしても、光は屈折率の異なる多くの媒質の中を過つてゆくから、反射による損失が極めて大きい。

シングルモードファイバは、コア径が5 μm 程度で極めて狭いから、シングルモードファイバの端面へ光を入射させるのは難しい。

(a) 問題の所在

光通信に於て、半導体レーザを光源とする時に、戻り光を遮断するために光アイソレータが要求されている。光は、光ファイバの中を伝搬する。光源が半導体レーザであれば、シングルモード光ファイバを用いる事が多い。

光ファイバと光アイソレータが分離しており、空間が介在する場合、光は異なる屈折率の媒質間で強く反射されるから、反射損失が大きくなる。光アイソレータの挿入損失は小さい方が望ましい。YIGの屈折率は2.2で、光ファイバの屈折率も約1.5である。光を空気中(屈折率は1)に出すと、軸合わせが難しいだけでなく、損失が大きい。

結局、光ファイバに使うアイソレータは単なる光アイソレータよりも光ファイバアイソレータが望ましい。

光ファイバアイソレータというのは、光ファイバの一部に作られた光アイソレータという事である。光ファイバと光アイソレータの間に空気が介在せず、互に接合されているものを意味する。

金属膜5はXZ面に平行であるとする。

金属膜5は数十〜数百オングストロームの厚さで、誘電体膜4は、数千オングストロームで、光の波長の程度である。

Z軸方向に進み、誘電体金属多層膜偏光子3に入射する光は、X軸方向に電界 E_x を持つものと、Y軸方向に電界 E_y を持つものの一次結合と考える事ができる。

X軸方向に電界を持つ光は、電界と金属膜5が平行になるので、金属膜内に電流を生ずる。これがジュール熱を発生しエネルギー損失を招くから、X軸方向の電界 E_x は急激に減衰する。つまり、X軸方向に電界を持つ光は、この誘電体金属多層膜で著しく減衰し、これを透過する事ができない。

Y軸方向に電界 E_y を持つ光は、電界 E_y と金属膜5の面とが垂直になる。界面に於て、電束密度が連続であるから、界面に分極電荷が生じて、金属内部のY方向の電界が0になる。このため、金属膜内には電流が流れず、ジュール熱も生じない。

このためには、フアラデー回転素子をファイバの寸法にしなければならないという事だけでなく、偏光子、検光子もファイバの寸法で作らなければならない。

(b) 偏光子、検光子

偏光子、検光子は、多様な偏波面を有する光を、一定方向に偏波面を有する直線偏光に変える素子である。偏光プリズム、偏光板などが使われている。いずれも寸法の大きい素子で、光ファイバの一部に製作する、という事はできない。

新しい原理に基づく偏光子が必要である。

本発明者は、既に、全く新しい原理による、誘電体金属多層膜偏光子を発明した(特願昭58-206801、昭和58年11月1日出願)。

第3図に斜視図を示す。

誘電体金属多層膜偏光子3は、薄い誘電体膜4と、より薄い金属膜5を交互に多数積層したものである。

第3図に於て、光の進行方向をZ軸とし、これに垂直な方向を、X、Y軸とする。誘電体膜4、

Y軸方向に電界 E_y をもつ光は減衰しにくい。

結局、誘電体金属多層膜は、膜面に直角な電界を有する光だけを通すことになる。これは従つて偏光子なのである。X軸方向の電界の減衰は極めて速いから、誘電体金属多層膜のZ方向の厚みTは極めて小さいものでよい。

Y軸方向に電界を有する光はTMモード、X軸方向に電界を有する光はTEモードに対応するから、この偏光子は、TMモードを通すがTEモードを通さないという事ができる。

誘電体膜が薄いと、TM、TEともに減衰が大きい、その減衰比も大きい。誘電体膜が厚くて2〜3 μm になると、減衰比は少なくなるが、減衰定数自体は低くなってくる。

金属膜の厚みは、50〜150オングストロームで良い。金属膜の厚みを増やすと、TM波の減衰が増えてゆく。

金属膜はアルミニウム又は銀の蒸着により、誘電体は石英のスパッタリングにより膜形成できる。

(ウ) ビスマス置換 YIG

YIG (イットリウム鉄ガーネット) の Y を Bi で置換した物質のベルデ定数の大きい事が発見された。H. Takeuchi, K. Shinagawa, and S. Taniuchi JJAP 12, 465 (1973) は、第4図に示すようなビスマス置換 YIG のファラデー回転係数の測定値を与えた。

分子式は $Y_{1-x}Bi_xFe_3O_{12}$ で表わされる。Bi の置換量 x がパラメータとなつてゐる。横軸は光の波長 (μm) である。縦軸はファラデー回転係数 (10^3 deg/cm) である。これは、飽和磁束が得られるような磁界を与えた時の回転係数で、ベルデ定数そのものではない。

Y を Bi で置換すると、ファラデー回転の符号が変わり、置換量 x を増やすと、ファラデー回転が増大する。この回転角の増大は、 $0.6 \mu m$ 以下の短波長域に於て特に著しい。 $0.6 \sim 0.8 \mu m$ に於ても、ビスマス置換量 x を増やすと、ファラデー回転係数は増加する。しかし、長波長域、例えば $1.3 \mu m$ での測定値は示されていない。このグラフの傾向

から、長波長域でファラデー回転は小さいものと推測される。

希土類鉄ガーネットは、希土類元素により、Bi によつて置換えられる最大量が異なる。希土類元素を Bi によつて置換できる最大量が最も大きいのは、ガドリウム鉄ガーネットである。

H. Takeuchi, S. Ito, I. Mikami, and S. Taniuchi, J. Appl Phys. 44, 4789 (1973) は、ガドリウム鉄ガーネットの、3つのガドリウム原子の内、ひとつをビスマスで置換えた $Gd_2Bi_1Fe_3O_{12}$ を作り、このファラデー回転係数、吸収係数を測定した。第5図はその結果を示すグラフである。

横軸は光の波長 (μm)、縦軸はファラデー回転係数 (10^3 deg/cm)、及び吸収係数 (cm^{-1}) である。実線は $Gd_2Bi_1Fe_3O_{12}$ で破線は比較のための YIG のデータである。

吸収係数はビスマス置換ガドリウム鉄ガーネットも YIG も殆ど変りがない。 $1.1 \mu m$ 以上の波長の光に対し吸収が 0 である。

一方、ファラデー回転係数の方は、YIG に比較して、ビスマス置換ガドリウム鉄ガーネットの方が約一桁火くなる。ファラデー回転係数は光の波長が増えるとともに減少する。ところが光の波長が短くなると、吸収係数が増えてくる。

光アイソレータのファラデー回転素子として使うのであるから、ファラデー回転係数が大きいという事だけでなく吸収係数の小さい、という事も必要である。

そこでファラデー回転係数で除した性能指数というものを考える。単位は deg/dB である。第6図は $Gd_2Bi_1Fe_3O_{12}$ と YIG の性能指数の波長依存性を示すグラフである。いずれも、 $0.8 \mu m$ 程度でひとつの極大を持つ。これは、吸収係数の極小が $0.8 \mu m$ の付近にあるからである。

性能指数は、 $1.0 \mu m$ 以上で急激に増加する。これは吸収がほぼ 0 に近くなる事に原因がある。

重要な事は、ビスマス置換ガドリウム鉄ガーネットが $1.1 \sim 1.3 \mu m$ の光のアイソレータ材料として YIG より 10 倍以上優れている、という事で

ある。波長が $1.3 \mu m$ の光に対して、ファラデー回転係数は $2.0 \times 10^3 \text{ deg/cm}$ で、吸収係数は 0.05 cm^{-1} 、性能指数は 4000 deg/dB である。

そうすると、 45° のファラデー回転を得るのに必要な長さは、 $225 \mu m$ である。さらに Bi の置換量を増加させるとファラデー回転係数が増加する事が玉城、対馬、第7回日本応用磁気学会学術講演要集 1983 年 11 月、によつて報告されている。一例として $Gd_{1.85}Bi_{1.15}Fe_3O_{12}$ ではファラデー回転係数は波長 $1.3 \mu m$ で約 2300 deg/cm である。この場合、 45° のファラデー回転を得るのに必要な長さは $196 \mu m$ になる。

光ファイバアイソレータを作る場合、レンズを用いず、光ファイバの間に直接、ファラデー回転素子を付ける必要がある。レンズを用いないので、シングルモードファイバのようにコア径が小さいものであると、特に損失が大きくなる。しかし、これは光ファイバの間隔 D が小さければ少なくなる。コア、クラッドの屈折率差は僅かであるから、シングルモードファイバの開口角は小さい。

第7図のように、2本の光ファイバ1、1を対向させ、屈折率 n の接続媒質2で接続したとする。光ファイバの端面間距離 D によつて、回折による光パワーの損失がどのように変化するかを計算し、第8図にグラフにして示した。横軸は光ファイバ端面距離 D (μm)で、縦軸は回折による損失(dB)である。入出力光ファイバはいずれも、コア径が $9.1\mu\text{m}$ 、コア、クラッドの屈折率差をコア屈折率で割つた値 Δ は0.24%で、光の波長は $1.3\mu\text{m}$ である。ファイバコアの屈折率を1.46とすると、規格化周波数 V は2.2である。2.4より小さいので、シングルモードファイバである。

パラメータは接続媒質2の屈折率 n であり、 $n=1$ 、1.46、2.2の場合を示している。 $\text{Gd}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ の $\lambda=1.3$ に対する屈折率は、YIGの値2.2と等しいとして、 $n=2.2$ のグラフから間隔 D が、 $225\mu\text{m}$ の場合の回折損失が1.95dBとなる。意外に小さい値である。これは、屈折率 n が2.2と大きい値である事による。

フレネル反射損失は、表面、端面での反射があ

るので、0.86 dBと評価できる。

すると、前記のビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットフアラデー回転素子(225 μm)を光ファイバ中に挿入した事による全損失は、約2 dB程度という事になる。

全損失をもつと小さくしたい場合には、フアラデー回転素子に反射防止膜をつければフレネル反射による損失分を低下させる事が可能である。さらに、第13図の様に反射防止加工したフアラデー回転素子をその合計の厚さがフアラデー回転角 45° とする様に複数個に分割して設ければ回折による損失分も小さくできる。これは回折損失が間隔 D に対して非線形的に増加する事による。

(4) $\text{Gd}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ の製作

ビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットは、ここでは、フラックス法で作られている。 Gd_2O_3 、 Bi_2O_3 及び Fe_2O_3 を混合し、 1300°C で5時間、白金るつぼ中で溶融する。この後、 1000°C まで 2.7°C/h の割合で冷却して作製した。

格子定数は12.572 Å、室温での飽和磁化は9.25

emu/gである。

(5) 光アイソレータ素子としての提案

ビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットは、非常に作り難い物質で、ビスマスの置換量を上げると強磁性化するという予想はあつたが、ビスマス量の多いものは作れなかつた。

この物質を光アイソレータのフアラデー回転素子として使おうという提案は既になされている。

NHK放送科学基礎研究所の物性研究グループにより(日刊工業新聞、昭和58年10月31日)その提案がされている。これによると、これまで述べたガドリニウム元素の1/3をビスマスで置換するものよりさらに一步前進して、ガドリニウムの40%をビスマスで置換したビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットが作製されたとある。

1.15 μm の波長の光に対し、フアラデー回転係数は8200 deg/cmであつたと報告されている。 45° の回転角を得るのに必要な長さは140 μm である。

これによつて作られた光アイソレータは5 mm × 5 mmであり、挿入損失は1 dB以下であつた、

と報告されている。

この報告には、偏光子、検光子についての言及がない。又、その寸法と、挿入損失の小さい事から考えて、この光アイソレータは、レンズを結合用に使っているものと推察される。又、偏光子などは従来通りの偏光板を用いたものであろう。

従来の偏光板に反射防止加工をし、さらに光アイソレータとしては単にレーザビームを用いたバルク動作を行なっているものと考えられる。

(6) 発明の構成

本発明の光ファイバ型アイソレータは、第9図に略斜視図を示すように、

- (1) ビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットの薄いフアラデー回転素子2を、ひとつ或は複数個2つの光ファイバ1、1の端面間に挟んで接着或いはファイバに作成した溝に挿入し、
- (2) それぞれの光ファイバに、互に 45° 傾いた誘電体金属多層膜偏光子3、3を形成し、
- (3) フアラデー回転素子2を開くように設けられ、フアラデー回転角が 45° になるような磁場を与

える磁場印加機構を設けている。

第9図では磁場印加機構の図示を略しているが、これは、永久磁石とヨークによつて構成できる。

第9図に於て、2本の光ファイバ1、1がフアラデー回転素子2に於て突合わせられている。フアラデー回転素子2の厚みは既に説明したように、100～250 μm である。

誘電体金属多層膜3は光ファイバ1の途中に作る事ができる。この場合、光ファイバのAの部分とBの部分は、もともと連続した1本のファイバである。

そうではなくて、誘電体金属多層膜3を別個の材料で作し、これを薄片として、光ファイバの端面間に貼りつける事もできる。この場合、光ファイバのAとBの部分はもともと別個のものである。

フアラデー回転素子2、誘電体金属多層膜偏光子3を光ファイバ1の途中に形成した後、ファイバの端面に合せて研削すれば第9図に示すような形状になる。

る。多層膜の形成は少なくともコア9を覆うだけは繰返さなければならない。コアを含む多層膜の形成が終ると、残りは全て誘電体膜としても良い。

又薄片とした金属誘電体交互多層膜からなる偏検光子を光ファイバに作成した溝中に挿入することもできる。

溝10の幅は数 μm ～数十 μm で良い。

第11図は光ファイバの途中に誘電体金属多層膜偏光子を作製した場合の拡大斜視図である。

第9図に示すものは光ファイバ型アイソレータの概念図で、実際には、これに被覆を施して、補強する。

又ビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットは単結晶であるから、機械的に強くないし、成形も難しいので、前記の手順で作成した光ファイバの溝へ薄片のまま挿入するか或いは角形の薄片のまま光ファイバ端面に接着し、接着剤14で周囲を固むようにしても良い。

第12図は、永久磁石を磁場印加機構とした光ファイバ型アイソレータの一例を示す。永久磁石15

(二) 光ファイバ型アイソレータの製作

まず、第10図に示すようにコア8とクラッド9よりなる光ファイバ1の側方から、コア8に至るまで、溝10を切りこむ。溝10は弓形に切込むが、底面11は平坦でなければならない。溝の側面12、12も平坦であるのが望ましい。

溝10の底面11、側面12を平坦にするため、イオンミリング、スパッタエッチング、リアクティブイオンエッチングなど方向性を有するエッチング法が適している。

又、鋭利な刃物により機械的に溝10を切欠く事もできる。

こうして弓形の溝10ができると、底面11に平行になるよう、底面11へ、誘電体膜4と金属膜5を交互に形成してゆく。

例えば、溶融石英をスパッタリングによつて、溝10の中へ厚さが4000～5000Åとなるように層形成する。この上に、Alを蒸着により、厚さが50～200Å程度になるようにつけてゆく。これを繰返して、平行な誘電体膜、金属膜を多数形成す

の磁場は強磁性体のヨーク16によつて導かれ、フアラデー回転素子2に於て、軸方向の磁界となる。

さらにフアラデー回転素子2は、第13図に示すように、複数個設けるようにしても良い。フアラデー回転角の合計が45°になるようにする。こうすれば回折損失がより少くなる。

(三) 効果

本発明は、光ファイバの中へ直接にアイソレータを作つたものであるから、次の効果を奏する。

- (1) 大型で重い偏検光子、フアラデー回転素子、或いはレンズを必要としない。小型で軽量である。
- (2) 軸合わせなど困難な作業を繰返す必要がない。
- (3) ファイバの中を伝搬する光は空気中へ出ないのでフレネル反射損失を著しく低減できる。
- (4) 波長が0.8～1.5 μm の光に対して有効に使えるアイソレータを与える。
- (5) 取扱いが容易である。

(2) 用 途

この発明は、半導体レーザを光源とする光通信システム、光ファイバジャイロなどの光計測機器、その他の応用機器に用いる事ができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図はGd-YIGフィルムを使ったファラデー回転素子の斜視図。

第2図はGd-YIGフィルムをファラデー回転素子とした公知の光アイソレータの断面図。

第3図は本発明者が発明した誘電体金属多層膜偏光子の斜視図。

第4図はYIGのYをビスマスで置換したものの、ビスマス置換量 x をパラメータとする、波長に対するファラデー回転係数の測定値のグラフ。

第5図はビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネット $Gd_2B_{1-x}Fe_xO_{12}$ とYIGの、光の波長(μm)に対する吸収係数(cm^{-1})と、ファラデー回転係数($10^3 deg/cm$)とを示すグラフ。実線がビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネット、破線がYIGのデータである。

第6図はビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネットとYIGの、光の波長(μm)に対する性能指数を示すグラフである。性能指数の単位は(deg/dB)である。

第7図は2本の光ファイバを距離Dを置いて対向させ屈折率 n の接続媒質2で結合した状態を略示する断面図。コア、クラッドの区別はしていない。

第8図は第7図に示す光ファイバ間における回折損失を計算し、距離Dの函数として示すグラフ。パラメータは接続媒質の屈折率である。光の波長は $1.8\mu m$ 、コア径 $9.1\mu m$ 、コア、クラッド屈折率差の割合 $\Delta = 0.0024$ 、規格化周波数 $V = 2.2$ のシングルモードファイバである。

第9図は本発明の光ファイバ型アイソレータの略斜視図。

第10図は光ファイバに弓形の溝を形成したものを示す斜視図。

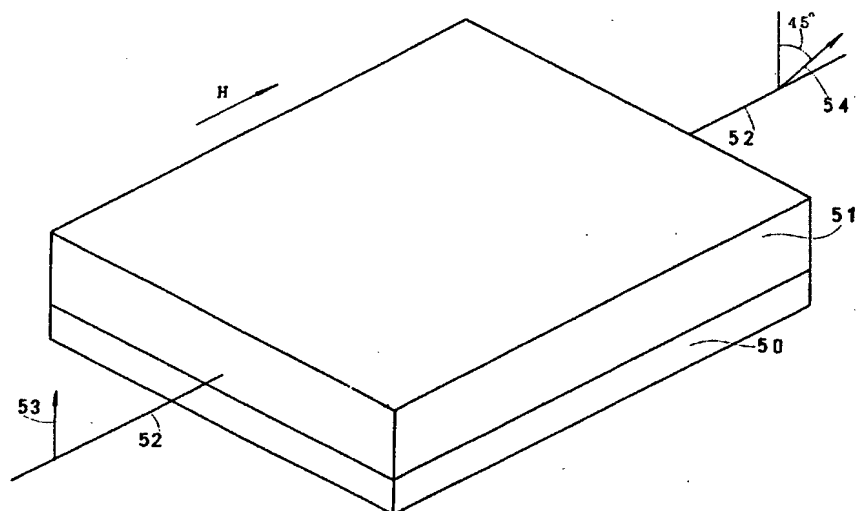
第11図は弓形の溝の中へ誘電体金属多層膜を形成したものの斜視図。

第12図は磁石を設けてファラデー回転素子に磁界を印加するようにした光ファイバ型アイソレータの断面図。

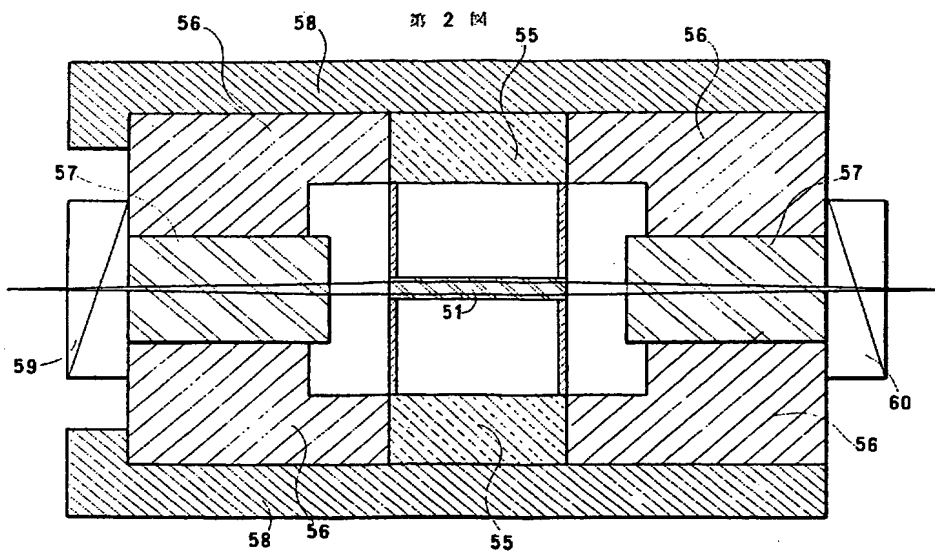
第13図はファラデー回転素子を2つ設けた光ファイバ型アイソレータの実施例を示す斜視図。

- | | | |
|----|-------|-------------|
| 1 | ..... | 光ファイバ |
| 2 | ..... | ファラデー回転素子 |
| 3 | ..... | 誘電体金属多層膜偏光子 |
| 4 | ..... | 誘電体膜 |
| 5 | ..... | 金属膜 |
| 8 | ..... | コア |
| 9 | ..... | クラッド |
| 10 | ..... | 溝 |
| 11 | ..... | 溝の底面 |
| 12 | ..... | 溝の側面 |
| 14 | ..... | 接着剤 |
| 15 | ..... | 永久磁石 |
| 16 | ..... | ヨーク |
| 17 | ..... | 通し穴 |

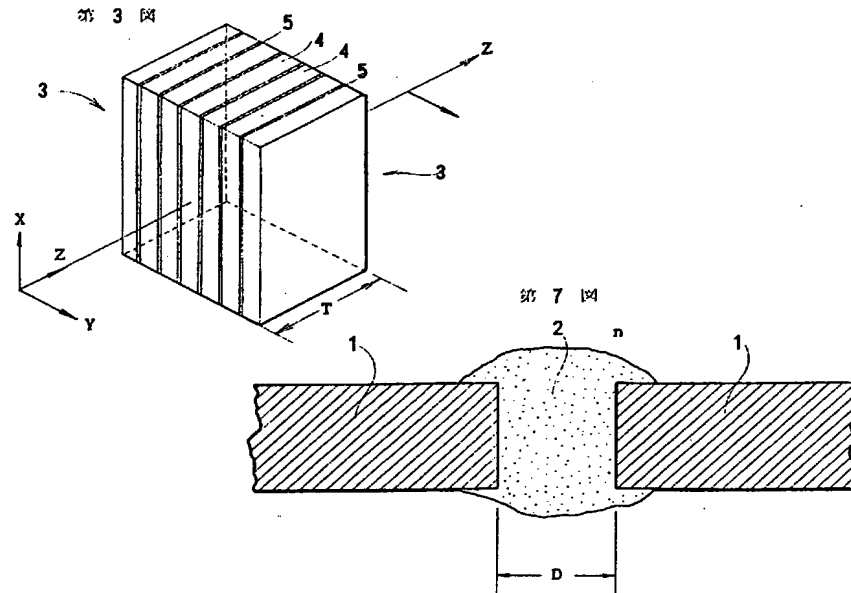
第 1 圖



第 2 圖



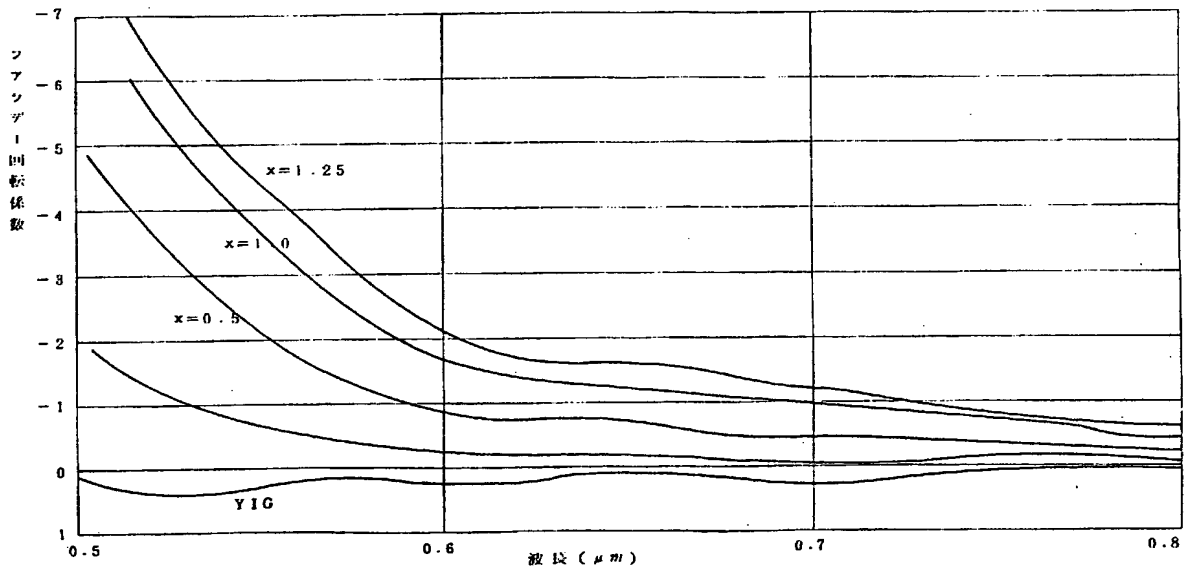
特開昭60-184225(9)



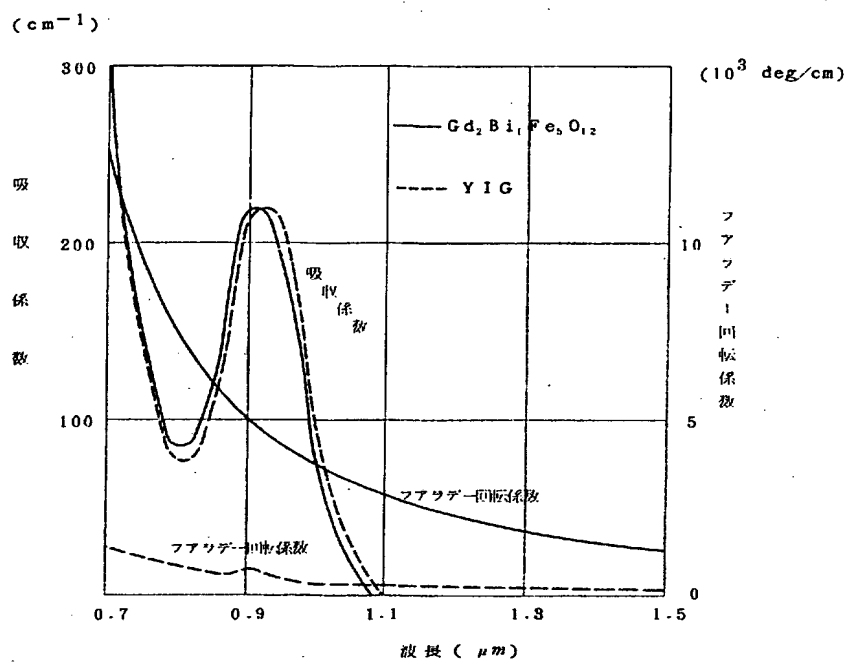
(10^4 deg./cm)

第4図

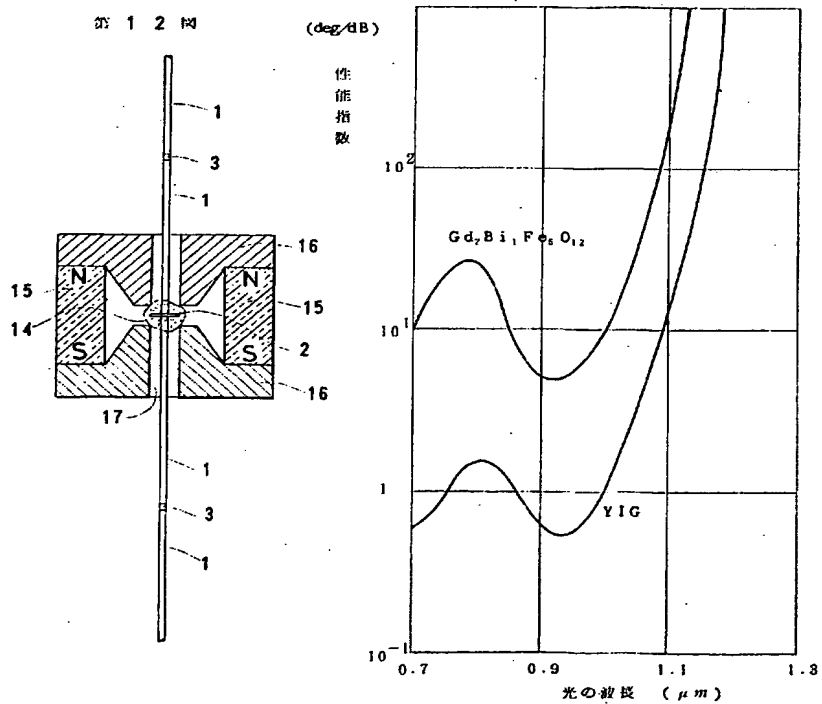
$\text{Y}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Fe}_2\text{O}_{7-x}$



第 5 図

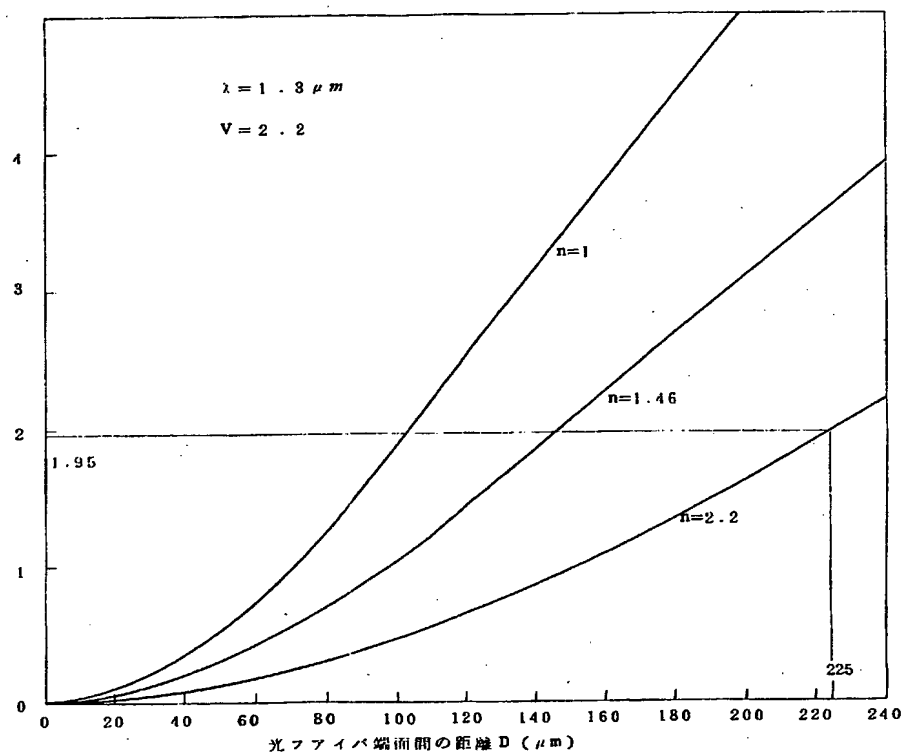


第 6 図

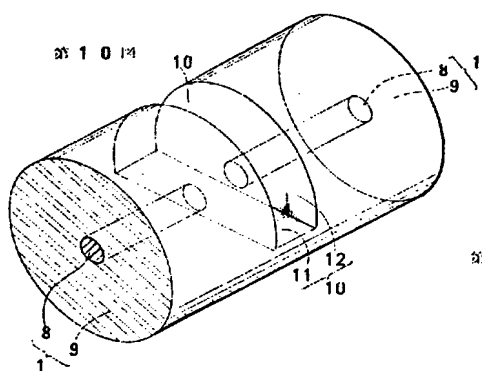


第 8 図

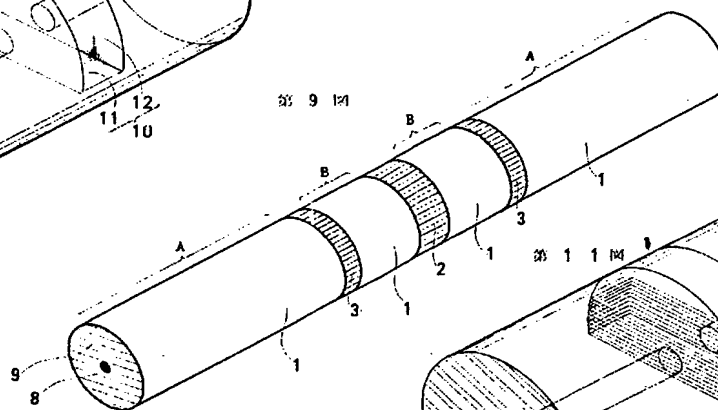
(dB)

損
失

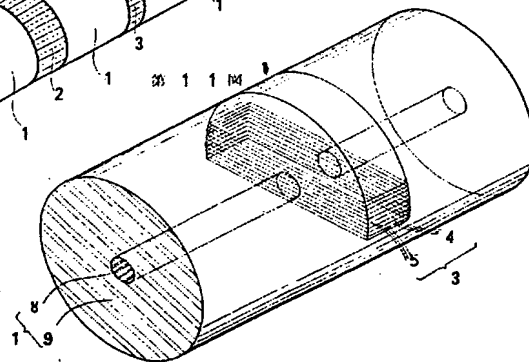
第 10 図



第 9 図



第 11 図



第 1 3 圖

